

QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DES SOLS AGRICOLES DE LA REGION DE L'OULJA ENTRE SIDI ABED ET OULAD GHANEM (SAHEL DES DOUKKALA, MAROC)

Hajar Mohcine

Najib Saber

Kaoutar Moustarhfer

Fadwa Rafik

Fatna Zaakour

Fatimaezzahra Matech

Chakib Marrakchi

Laboratoire de Géologie Appliquée, Géomatique et Environnement,
Département de géologie Université Hassan II de Casablanca, Faculté des
Sciences Ben M'sik, Casablanca- Maroc

Abstract

The present work is a contribution to the characterization of agricultural soils in the region of Oulja (Sahel Doukkala) between Sidi Abed and Oulad Ghanem. This region is considered as a very important agricultural center, known nationally for its high potential of maraichere culture. However, once the plots are destined to these last, they know a significant regression, probably related to changes in soil quality. Therefore, a sampling campaign was done in October 2014 in three stations, in order to evaluate the agronomic quality of soil in the region. Soil quality has been appreciated through some physical and chemical indicators to know: pH, organic matter, calcium carbonates and structural stability in dry and in water. Results indicate that the pH is basic with grades ranging from 8.2 to 8.4 on average, calcium carbonate rates are high in the various stations and greatly exceed 23%, organic matter contents ranging on average of 2.5% to 4.11%, rate of unstable aggregation in water remains below 30%.

Keywords: Oulja, maraichere culture, soil quality, organic matter, physical and chemical indicators

Résumé

Le présent travail est une contribution à la caractérisation des sols agricoles de la région de l'Oulja (Sahel des Doukkala) entre Sidi Abed et Oulad Ghanem. Cette région se considère comme un pôle agricole très important, connu à l'échelle nationale par sa forte potentialité en cultures maraichères. Cependant les parcelles, autrefois destinées à ce type de culture, connaissent une régression notable, probablement liée à des changements au niveau de la qualité des sols. De ce fait, une campagne d'échantillonnage a été effectuée en mois d'octobre 2014 au niveau de trois stations dans le but d'évaluer la qualité agronomique des sols de la région. La qualité des sols a été appréciée par le biais de quelques indicateurs physico-chimiques à savoir : pH, la matière organique, les carbonates de calcium et la stabilité structurale à sec et à eau. Les résultats révèlent que le pH est basique avec des teneurs variant de 8,2 à 8,4 en moyenne, les taux de carbonate de calcium sont élevés dans les différentes stations et dépassent largement 23%, les teneurs en matière organique varient en moyenne de 2,5% à 4,11%, des taux d'agrégation instables à l'eau qui restent inférieurs à 30%.

Mots clés : Oulja, culture maraichère, qualité de sol, matière organique, indicateurs physico-chimiques

Introduction

Les zones côtières constituent des zones propices au développement des cultures maraichères, particulièrement dans les régions arides et semi arides. Ces franges côtières se considèrent comme des secteurs privilégiés permettant une offre variée de productions agricoles (Unesco, 1987 ; Pulido et al., 1991 ; Younsi, 1994 ; BRGM, 1995). La richesse en cultures maraichères dans ces zones est due essentiellement à la combinaison de plusieurs facteurs favorisant ainsi une extension remarquable de ces cultures.

Au Maroc le Sahel des Doukkala et plus précisément l'Oulja est en effet la seule région du périmètre à bénéficier des conditions plus favorables: les pluies y sont plus abondantes, les influences océaniques y maintiennent une humidité atmosphérique appréciable et une nappe d'eau douce aisément exploitable qui convenait parfaitement au maraîchage (Schmidt, 1970). En effet l'évolution spectaculaire des cultures maraichères dans cette région est due essentiellement à une importante hétérogénéité texturale et granulométrique des sols (HTE) et une fertilité considérable (Younsi, 2001) généralement contrôlée par la présence de matière organique. Cette dernière joue un rôle essentiel dans le maintien de la stabilité structurale qui à son tour influence les propriétés physiques (aération, circulation de l'eau, perméabilité..), chimiques (échanges ioniques, séquestration du carbone) et

biologiques (activités des microorganismes, croissance racinaire), dans la conservation ou l'augmentation de l'aptitude du sol à retenir l'eau (Gregorich, 1997), régule les activités biologiques et contribue à la diversité et à la complexité des sols (Genot et al., 2007).

Pour toutes ces raisons, cette région se considérait comme une région maraîchère par excellence à forte production agricole. Mais dernièrement, l'accroissement des activités agricoles s'est accompagné par une demande en eau de plus en plus forte (DPA, 1993 et 1996 ; Younsi, 1994 ; DRPE, 1996), ce qui a engendré une surexploitation des nappes côtières (irrigation par pompage) influencées par le biseau salé marin provoquant ainsi une régression notable des parcelles destinées aux cultures maraîchères.

Ainsi l'objectif du présent travail consiste à une caractérisation générale de la qualité des sols en se basant sur les résultats des analyses de quelques paramètres physico-chimiques à savoir : pH, la matière organique, la stabilité structurale et les carbonates de calcium.

Méthodes et matériels

Situation géographique et cadre géologique de la zone d'étude

La région d'étude fait partie du domaine de la Meseta côtière méridionale du Maroc. Elle est limitée au Nord et Nord-Ouest par l'Océan atlantique, à l'Est par l'Oued Oum Er-rbia et la plaine de Chaouia, au Sud par les collines des Mouissate, au Sud-Ouest par les Abda et au Sud-Est par le massif des Rhamna (figure 1). Le Sahel se présente comme une bande de 25 à 30 km de largeur et de 110 km de longueur couvrant la façade littorale du bassin hydrogéologique entre Safi et El Jadida. Il est caractérisé par un système de dunes consolidées allongées parallèlement à la cote d'une direction générale SSW-NNE (Ferré, 1975 ; Aboumaria, 1993 ; Ouadia, 1998). Ces dunes sont séparées par des creux à fond plat s'allongeant en dépression plus ou moins marécageuse. La mise en place de ces cordons dunaires anciens a été favorisée par des alizés NE plus puissants qu'actuellement sur les côtes marocaines (Weisrock, 1983).

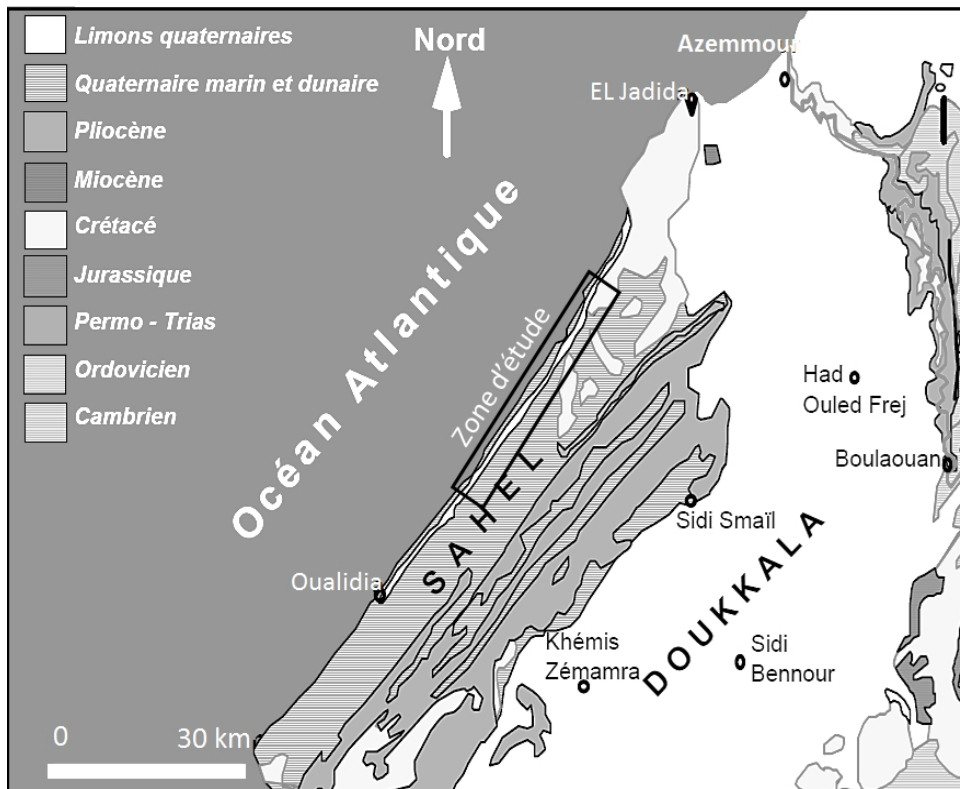


Figure 1 : Carte géologique du bassin Abda Doukkala extraite de la carte géologique 1/1000000 du Maroc

Du point de vue géologique la région fait partie du domaine de la Méséta marocaine côtière qui est encadrée par les chaînes atlasiques et rifaines. Elle est définie par le régime tabulaire des dépôts secondaires sur des terrains précambriens et primaires fortement plissés par l’orogénèse hercynienne. Le domaine du Sahel comprend deux entités géologiques distinctes, le socle précambrien et paléozoïque, et la couverture formée par des terrains secondaires, tertiaires et quaternaires (Fadili, 2014).

Caractéristiques Climatiques de la région

La région est caractérisée par un climat similaire au type Méditerranéen semi-aride, doux et ensoleillé à influence océanique. L’été est généralement chaud et sec, et s’étend du mois d’avril à novembre ; l’hiver est humide et tempéré et s’étend du mois d’octobre à avril voire mai.

Le climat dans cette région se caractérise par un automne et un hiver pluvieux, particulièrement les mois de novembre, décembre, janvier, février et Mars, (30 et 100 mm en moyenne) et des étés secs. La pluviométrie aux mois de juin, juillet et août est relativement nulle et une longue saison sèche s’étend du printemps à l’été (figure 2).

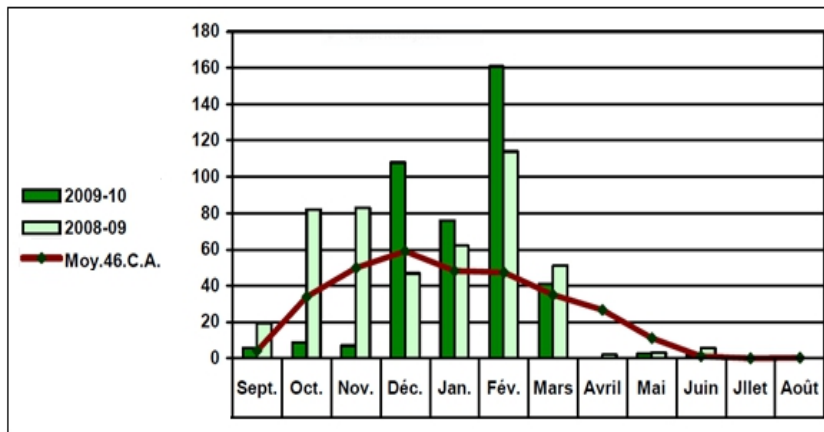


Figure 2 : Répartition des précipitations enregistrées durant l’année (2008-10) et (2009-10) comparées à celles de la moyenne des 46 dernières années au niveau de la station de Khmis M’Touh (ORMVAD, 2010).

Le régime thermique de la plaine côtière des Doukkala traduit clairement l’influence de la proximité océanique. La température moyenne annuelle est de l’ordre de 18 °C, elle est relativement stable d’une année à l’autre avec un minimum de 4°C lors des périodes de gelées qui sont exceptionnelles, et un maximum de 40°C lors de soufflement de chergui. Le mois le plus froid (janvier) n’enregistre en moyenne que 15°C, alors que les mois les plus chauds (juillet et août) montrent une moyenne de 27 °C et 26°C (figure 3).

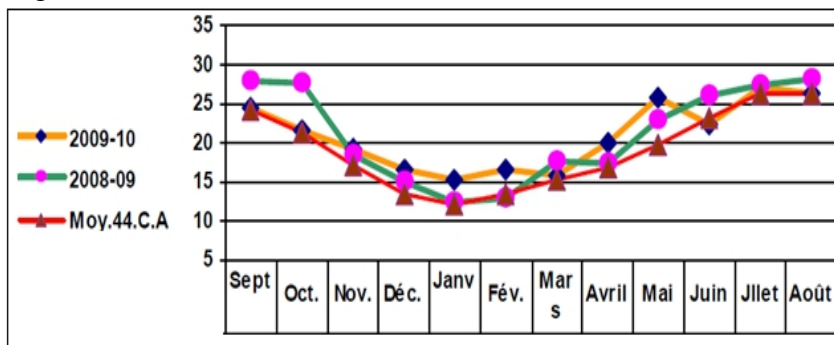


Figure 3 : Répartition des températures moyennes mensuelles enregistrées au cours de l’année 2008-09 et 2009-10 en comparaison avec celles de la moyenne de 44 dernières années au niveau de la station de Khmis M’ Touh (ORMVAD, 2010).

les vents sont en général de direction Nord-Ouest avec des vitesses modérées qui oscillent dans la majorité des cas entre 3 et 6 m/s.

L’humidité relative de l’air est élevée dans la région, elle est de l’ordre de 76% en moyenne et pendant toutes les saisons du fait des brumes et brouillards (ORMVAD, 2009).

Méthodes d'analyses

Lors de cette étude, on a effectué un échantillonnage de 30 prélèvements d'une façon aléatoire par une tarière suivant l'horizon (0-20cm). Cet échantillonnage est réparti en trois stations : Sud Oulad Ghanem (Station I), Nord Oulad Ghanem (Station II) et Sidi Abed (Station III) (figure 4). Généralement les parcelles choisies sont des parcelles destinées aux cultures maraichères.

Le sol a été séché à l'air libre, broyé et tamisé à 2mm.

La Matière Organique a été déterminée par la méthode de Walkley et Black (1934) qui consiste à une oxydation de la fraction organique du carbone par un mélange de bichromates de potassium en milieu acide. Le taux de la matière organique est estimé en multipliant le pourcentage du carbone organique par le facteur 1,724; le pH a été mesuré par la méthode électrométrique avec un rapport sol/eau de 0,5 (Mc lead, 1983) ; le dosage du carbonate de calcium a été effectué par volumétrie par la méthode Bernard décrite par Chamley (1966).

La stabilité structurale à sec a été déterminée par tamisage à sec (méthode de Youker et McGuinness, 1956), c'est une méthode qui simule l'action de l'érosion éolienne sur la distribution des tailles et de la stabilité des agrégats.

La stabilité structurale à eau a été évaluée par la méthode Kemper et Rosenau (1986) ; cette méthode permet d'avoir une description réaliste du comportement des matériaux-sols soumis à l'action de la pluie, et de permettre un classement relatif des matériaux vis à vis de ce comportement.

Pour déterminer l'effet significatif entre les paramètres physico-chimiques étudiés, différentes mesures ont fait l'objet d'une analyse de variance, suivant les tests de corrélation de Person. Ces analyses statistiques ont été effectuées par le logiciel XLSTAT 2015 pendant sa période d'essai.

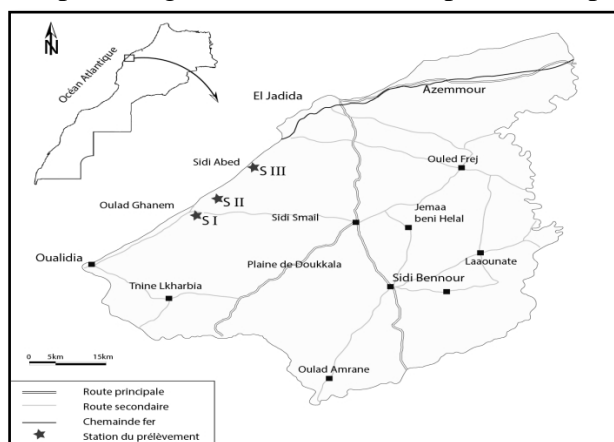


Figure 4: localisation des stations d'échantillonnage

Résultats pH eau

Les valeurs enregistrées indiquent des sols à pH basique avec des teneurs variant de 8,2 à 8,4 en moyenne suivant les différentes stations de prélèvements (tableau1). Ces valeurs sont généralement comparables d'une station à une autre et dans la même station. Ainsi dans la station I (Sud Oulad Ghanem) le pH est de 8,2 à 8,4 ; de 8,2 à 8,4 dans la station II (Nord Oulad Ghanem) et de 8,2 à 8,7 dans la station III. Cette basicité du pH parait très clairement dans la station III (Sidi Abed), où elle enregistre la valeur la plus élevée soit 8,7.

Tableau 1 : Les valeurs du pH eau des différents échantillons

Paramètre Echantillons	pH eau		
	Station I	Station II	Station III
1	8,3	8,2	8,2
2	8,2	8,3	8,2
3	8,2	8,2	8,2
4	8,4	8,3	8,3
5	8,3	8,3	8,3
6	8,3	8,4	8,7
7	8,4	8,2	8,4
8	8,2	8,4	8,3
9	8,2	8,2	8,7
10	8,2	8,3	8,2
Moyenne	8,27	8,28	8,35

Matière organique

Les valeurs moyennes du taux de la matière organique ont permis de distinguer une variation notable d'une station à une autre (4,11 en SI, 3,6 en SII et 2,5 en SIII) et dans la même station. La matière organique est de 2,78 à 4,94% dans la station I, de 2,31 à 4,94 % dans la station II et de 1,54 à 3,40% dans la station III (tableau 2). Cependant la station III manifeste la teneur la plus faible (1,54%), d'autre part, les taux les plus élevés sont enregistrés au niveau des stations I et III soit respectivement 4,94% et 4,92%.

Tableau 2 : Les teneurs de la matière organique des échantillons dans les différentes stations

paramètre Echantillons	MO %		
	Station I	Station II	Station III
1	4,02	3,24	3,40
2	4,79	2,31	3,40
3	3,40	4,48	1,54
4	4,63	4,94	2,31
5	4,32	2,31	2,31
6	4,79	4,32	2,31
7	3,40	3,6	2,27
8	4,94	4,92	2,51
9	4,02	2,32	1,54
10	2,78	3,51	3,4
Moyenne	4,11	3,60	2,50

Carbonates de Calcium

Les résultats du tableau 3 montrent que les valeurs des carbonates de calcium dans les différentes stations sont variables et dépassent largement 20%. Cependant le taux de CaCO_3 est de 31,25% à 37,38% dans la station I, de 23,91% à 34,97% dans la station II et de 27,93% à 35,87% dans la station III. Généralement c'est au niveau de la station I qu'on note les valeurs les plus élevées et ce par rapport à la station II et III, cependant ces dernières manifestent en moyenne des teneurs similaires de carbonates de calcium.

Tableau 3 : Les taux du CaCO_3 dans les différentes stations

paramètre Echantillons	CaCO ₃ %		
	Station I	Station II	Station III
1	32,06	34,97	29,94
2	31,25	33,56	30,15
3	34,77	31,95	35,87
4	34,67	23,91	34,07
5	37,38	31,95	27,93
6	35,87	31,45	35,37
7	35,37	31,29	29,24
8	35,67	24,91	31,79
9	36,08	34,97	27,93
10	35,97	34,77	35,79
Moyenne	34,9	31,373	31,808

Stabilité structurale

Le test de stabilité structurale montre que l'indice de stabilité à sec (DMP) est comparable dans toutes les stations et dans la même station. En effet les sols de la région sont instables avec des valeurs qui ne dépassent pas 1,11mm. Ainsi, le DMP enregistre des valeurs oscillant de 0,50 à 1,11 mm dans la station I, de 0,36 à 0,98 mm dans la station II et de 0,51 à 0,93 mm dans la station III (tableau 4). En effet la station I et III enregistrent les taux les plus élevés (0,75 mm SI et 0,72 mm SIII en moyenne), d'autre part le taux le plus faible est enregistré dans la station II (0,63mm en moyenne).

En ce qui concerne la stabilité structurale à eau, les sols échantillonnés présentent un taux d'agrégats instable inférieur à 27%. L'indice de stabilité (IS) varie de 22,22 à 33,22% dans la station I, de 21,10 à 36,74% dans la station II et de 21,91 à 29,21% dans la station III.

Tableau 4 : Le DMP et IS des échantillons prélevés dans les différentes stations

Stations Paramètres Echantillons	Station I		Station II		Station III	
	DMP	IS	DMP	IS	DMP	IS
1	0,6	22,52	0,71	23,01	0,67	25
2	1,11	33,22	0,53	30,12	0,62	27,43
3	0,5	27,84	0,57	29,37	0,63	21,91
4	0,82	32,01	0,62	21,1	0,84	22,42
5	0,51	22,22	0,36	36,74	0,93	28,42
6	0,79	26,6	0,98	25,14	0,51	29,21
7	0,76	26,77	0,63	27,58	0,82	28
8	0,92	23,98	0,36	21,1	0,72	26,05
9	0,74	24,43	0,98	36,74	0,53	21,98
10	0,7	25	0,58	25	0,93	30,11
Moyenne	0,75	26,46	0,63	27,59	0,72	26,05

Discussions

Le pH du sol est une expression synthétique des conditions physico-chimiques qui président en partie à la structuration du sol, à l'activité microbienne et à la disponibilité des éléments nutritifs. (Genot et al, 2007). En se basant sur les valeurs du pH eau, Baize en 1988, a pu classer les sols en trois catégories : les sols acides, dont le pH varie de 0 à 6, les sols neutres avec un pH égal à 7 et les sols basiques ou alcalins dont le pH est supérieur à 8.

Les résultats obtenus dans notre secteur d'étude montrent qu'il n'y a pas de différence significative de ce facteur entre les sols des trois stations. En fait, le pH du sol trouvé dans ces différentes stations est généralement comparable (figure 5), il présente respectivement les valeurs (8,27 SI ; 8,28 SII et 8,32 SII). Cependant, les résultats obtenus par l'étude effectuée par Naaman (2001) et Droussi (2005), ont montré que le pH des différents secteurs du périmètre irrigué des Doukkala ($pH_{\text{moyen}} = 7.74$) est moins basique que celui qu'on a obtenu.

Cette alcalinité des sols étudiés peut être rapportée soit à la nature de la roche mère qui est riche en calcaire ou bien à un enrichissement des sols de ces régions en cations (Ca^{2+} et Mg^{2+}), on parle dans ce cas de phénomène d'alcalinisation, ou bien en Na^{+} et on parle dans ce cas d'une salinisation ou d'une sodication, d'origine marine due à la proximité de la mère.

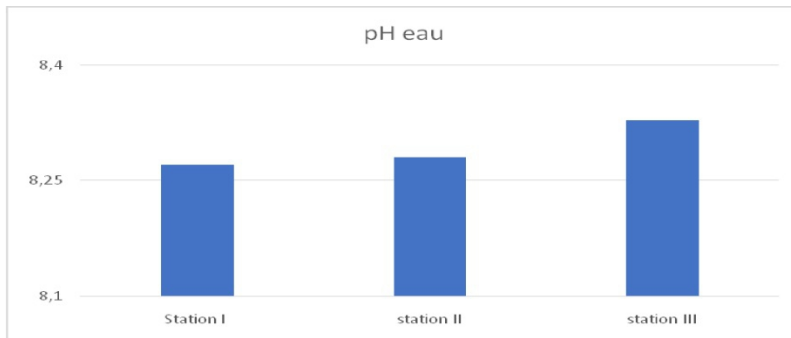


Figure 5 : Evolution du pH eau selon les stations

Carbonates de Calcium

L'évolution des carbonates de calcium des sols étudiés enregistre une baisse initiale suivie d'une légère stabilisation (figure 6), cette évolution ne traduit pas de différence significative entre les trois stations. Or ces résultats ne sont pas en accord avec les travaux de Droussi (2005) dans le périmètre irrigué des Doukkala où il montre que les sols de cette région manifestent des taux faibles de carbonate de calcium.

En effet les valeurs marquées dans ces stations traduisent la richesse du sol en coquilles. Généralement ces résultats nous permettent de classer nos sols comme étant des sols fortement calcaire et ce, en se basant sur les normes internationales d'interprétation du taux de calcaire du sol NF ISO 10693 (Baize, 1988).

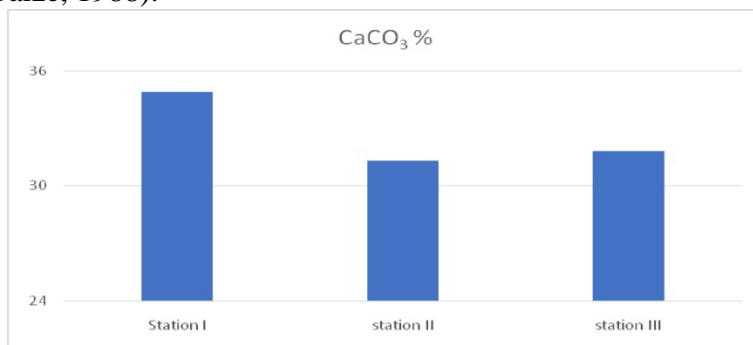


Figure 6 : Variation des carbonates de calcium suivant les trois stations

Matière organique

L'analyse des données (figure 7) montre que les sols de Sidi Abed (station III) enregistrent en moyenne les valeurs les plus faibles en Matière Organique (2,5 %), tandis que les sols de Sud Oulad Ghanem (station I) sont les plus riches en matière organique soit 4,11 %. Or, la station II (Nord Oulad Ghanem) présente un taux sensiblement proche à la station I, qui de 3,6%.

En fait nous supposons que les valeurs élevées enregistrées dans ces trois stations peuvent être due à une forte utilisation des engrais verts (fumier organique). En effet, nos résultats ne concordent pas avec ceux trouvés par Badraoui et al. (2000) ; Naaman et al. (2001) où ils montrent que les sols de Doukkala sont très pauvres en matière organique, dont le taux est généralement inférieur à 1,5% et ne dépasse pas les 2%.

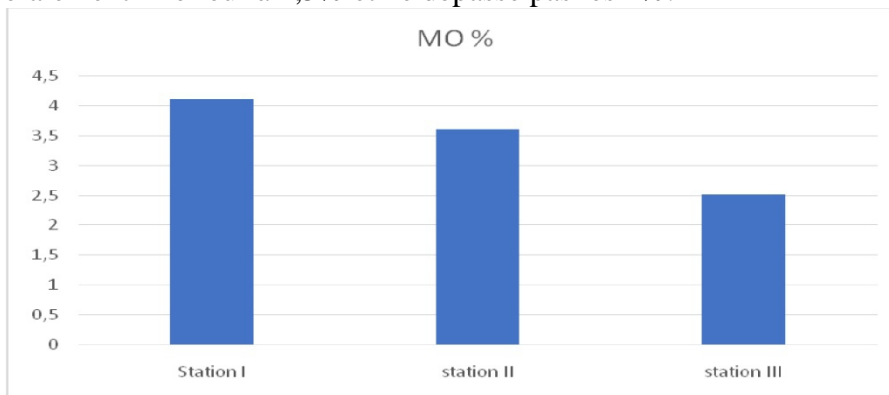


Figure 7 : Evolution de la matière organique selon les trois stations

Le test de corrélation entre les différents paramètres physico-chimiques étudiés nous a permis de mettre en évidence : Des corrélations positivement significatives entre la matière organique, les carbonates de calcium et le DMP, ainsi qu’une corrélation modérée a été observée entre la matière organique et l’IS (tableau 5). Des corrélations négativement très significatives ont été enregistrées : le pH, la matière organique, le DMP et IS, les carbonates de calcium. Ces derniers ont été corrélés négativement avec le pH soit de (-0,529).

Tableau 5: Corrélation de Pearson entre les différents paramètres étudiés.

Variables	pH	CaCO ₃	MO	DMP	IS
	eau	(%)	(%)	(mm)	(%)
pH eau	1				
CaCO ₃					
(%)	-0,529	1			
MO (%)	-0,988	0,654	1		
DMP					
(mm)	0,119	0,780	0,036	1	
IS (%)	-0,584	-0,380	0,451	-0,875	1

D’après ces résultats la région d’étude révèle à travers les paramètres étudiés que les sols présentent :

- Un pH avec une tendance basique manifestant ainsi une valeur maximale de 8,7, cette alcalinité est probablement liée à la nature de la roche mère qui est d’origine calcaire;

- Un taux de Matière Organique totale variable de 2,5% à 4,11% en moyenne certainement dû à l'assolement et aux apports irréguliers en fumier, et ce à fin de répondre aux exigences des cultures maraîchères;
- Des teneurs élevées de carbonates de calcium dépassant largement 23 % qui sont généralement due à la richesse de nos sols en coquilles ;
- Un taux d'agrégation instable à l'eau inférieur à 28% cela est dû à la nature de nos sols.

Conclusion et recommandations

Le présent travail constitue une évaluation de la qualité physico-chimique des sols agricoles de la région de l'Oulja entre Sidi Abed et Oulad Ghanem. L'analyse des résultats a abouti à dégager les conclusions suivantes :

En ce qui concerne le pH, les résultats ont révélé que les sols sont alcalins variant de 8,27, 8,28 à 8,35 soient respectivement au Sud Oulad Ghanem, Nord Oulad Ghanem et Sidi Abed. Cette alcalinité est généralement liée à la nature de la roche mère ou à un enrichissement des sols en cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} et Na^{+}) d'origine marine.

Pour la Matière Organique, les résultats ont indiqué une variation notable de ces teneurs, qui est de 2,5%, 3,60% et 4,11 % respectivement au Sud Oulad Ghanem, Nord Oulad Ghanem et Sidi Abed. Ces taux traduisent l'utilisation intensive des engrais verts (fumier organique).

Par contre, les teneurs des carbonates de calcium ne manifestent pas de différences significatives entre les trois stations, elles sont généralement de 34,9%, 31,3% et 31,8% respectivement au Sud Oulad Ghanem, Nord Oulad Ghanem et Sidi Abed.

Les indices de stabilité structurale à sec et à eau révèlent un taux d'agrégat instable pour les sols des trois stations. Ce taux varie de 0,63, 0,72 à 0,75mm (DMP) respectivement au Nord Oulad Ghanem, Sidi Abed et Sud Oulad Ghanem, et de 26,05, 26,46 à 27,5% (IS) respectivement à Sidi Abed, Sud Oulad Ghanem et Nord Oulad Ghanem.

L'évaluation de la qualité du sol doit être complétée par d'autres analyses agronomiques (CE, azote, potassium, phosphore, capacité d'échange cationique ...).

D'autant plus que les résultats obtenus sur les sols étudiés doivent être confirmés par l'évaluation de la qualité des sols au niveau des parcelles avoisinantes dans le Sahel des Doukkala qui connaissent une régression des parcelles agricoles destinées au maraichage.

References:

- Abou Maria, K. (1993). Les formations quaternaires des Sahel des Doukkala (Méséta occidentale marocaine): mise en place et évolution post-sédimentaire. Thèse de 3^{ème} cycle. Fac. Sci, Rabat, 186 p.
- Badraoui, M., Agbani, M., Soudi, B. (2000). Evolution de la qualité des sols sous mise en valeur intensive au Maroc. Séminaire 'Intensification agricole et qualité des sols et des eaux'. Rabat, 2-3 Novembre 2000, pp : 1-11.
- Baize, D. (1988). Guide des analyses courantes en pédologie : choix, expression, présentation et interprétation. INRA Editions, Paris.
- B.R.G.M. (1996). Méthodes et moyens de contrôle des biseaux salés. Rapport scientifique no R 38847, 74 p.
- Chamley, H. (1966). Guide des techniques du laboratoire de Géologie Marine de Luminy, 198 p
- D.P.A. (1993). Rapports et bilans d'activités. El Jadida, Maroc, Rapport scientifique inédit.
- D.P.A. (1996). Rapports et bilans d'activités. El Jadida, Maroc, Rapport scientifique n°3, 84 p.
- Droussi, B. (2005). Caractérisation physico-chimique des sols des Doukkala et établissement de plan de fumure pour la betterave à sucre. Mémoire de DESA. Univ. Chouaib Doukkali
- D.R.P.E. (1996). Résultats de l'enquête sur les prélèvements par pompage. Rapport définitif, 22 p. et annexes.
- Fadili, M. (2014). Etude hydrogéologique et géophysique de l'extension de l'intrusion marine dans le Sahel de l'Oualidia (Maroc) : analyse statistique, hydrochimie et prospection électrique. Thèse de Doctorat Es-science, Univ. Chouaib Doukkali, p. 15.
- Ferre, M., Ruhard, J.P. (1975). Ressources en eau (plaines et bassins du Maroc atlantique) ; les bassins des Abda-Doukkala et du Sahel d'Azemmour à Safi. Not. Mém. Sér. Géol. Maroc. N 231, pp : 261-289.
- Genot, V., Colinet, G., Bock, L. (2007). Fertilité des sols agricoles et forestiers en région Wallonne. Dossier scientifique, rapport analytique 2006-2007 sur l'état de l'environnement Wallonne. Faculté universitaire agronomiques de Gembloux, 13 p.
- Gregorich, E.G., Carter, M.R. (1997). Soil quality for crop production and ecosystem health. Developments in Soil Science 25. Elsevier, NY. USA.
- HTE (2007). Impact de l'intensification agricole sur la qualité des sols et des eaux souterraines dans le périmètre irrigué des Doukkala, N°138, pp : 47-50.
- Kemper, W.D., Rosenau, R.C. (1986). Aggregate stability and size distribution: A. Klute (ed.). Methods of Soil Analysis: Part 1, Physical and Mineralogical Methods. American Society of Agronomy Monograph, 2nd ed. Madison, Wisconsin, pp: 425-442.

- Mc lead, e.o. (1982). pH and lime requirements. In: Page, A.L. et al. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2, second ed., Agronomy, vol. 9 Soil Society of America, Madison, WI*, pp: 199–244.
- Naaman, F., Soudi, B., Chiang, C. (2001). Impact de l'intensification agricole sur le statut de la matière organique des sols en zones irriguées semi-arides au Maroc. *Etude et gestion des sols, vol, 8, 4, 2001*, pp: 269-277.
- Youker, R.E., McGuinness, J.L. (1956). A short method of obtaining mean weight diameter values of aggregate analysis of soils. *Soil Sci. 83*, pp : 291-294.
- ORMVAD. (2009). Rapport relatif à l'agro-climatologie dans le périmètre des Doukkala. Campagne agricole 2008-2009.
- ORMVAD. (2010). Rapport relatif à l'agro-climatologie dans le périmètre des Doukkala. Campagne agricole 2009-2010.
- Ouadia, M. (1998). Les formations plio-quadernaires dans le domaine mésétien occidental entre Casablanca et Safi: Géomorphologie, Sédimentologie, Paléoenvironnements quadernaires et Evolution actuelle. Thèse d'état es Sciences. Univ. Mohammed V. Rabat, 319 p.
- Oulaaross, Z. (2009). Etude climatologique, hydrogéologique et géophysique du Sahel côtier des Doukkala (Maroc). Apport de l'analyse statistique et de l'inversion des données géoélectriques à l'étude du biseau salé de la lagune de Sidi Moussa. Thèse es-science, Univ. Chouaib Doukkali, 33 p.
- Pulido-bosch, A., Navarrete, F., Molina, L. (1991). Quantity and quality of groundwater in the Campo De Dalias (Almeria, S.E. Spain). *Water Sci. Techn., V. 24, 11*, pp : 57- 69.
- Schmidt, M. (1970). Problèmes de développement agricole dans le périmètre des Abda-Doukkala (Maroc). In: *Tiers-Monde. 1970, tome 11 n°44. La ville et l'organisation de l'espace dans les pays en voie de développement*, pp : 793-814.
- U.NE.S.C.O. (1987). Groundwater problems in coastal areas. 582 p
- Younsi, A., Lhadie, K., Mania, J. (1994). Application du modèle de simulation des aquifères (ASM) à deux secteurs vulnérables de la nappe côtière de la province d'El Jadida. Coll. Intern. Agadir sur le thème « eaux et pollution ».
- Younsi, A. (2001). Méthodologie de mise en évidence des mécanismes de salure des eaux souterraines côtières en zone semi-aride irriguée (Chaouia côtière, Maroc). Thèse d'état, Univ. Chouaib Doukkali.
- Walkley, A., Black, I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci. 63*, pp : 251-263.
- Weisrock, A. (1983). Sur la notion du pluvial au Maghreb et péninsule ibérique. *Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine, Bordeaux. 34*, pp : 137-149.